干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

编者按：

天山北坡经济带是国家丝绸之路经济带建设的核心区，也是新疆生产力布局的高度聚集区，为了解决该区域资源性缺水问题，先后实施了北疆供水和艾比湖流域生态环境保护等水资源配置工程。针对天山北坡水资源及河流水系分布，中国工程院邓铭江院士提出了构建天北带"大水网"水资源配置框架格局的规划设想，并结合我国新时期治水思路和"五大"发展理念，提出了"三生空间"优化布局、"三生关系"统筹协调、"三生用水"合理配置、"三网合一"智能调控的水资源—社会经济—生态环境协调发展的总体思路。其学术观点体现了智慧水利的发展方向，也是当代水利科技前沿，与国家构建"三区三线，多规合一"国土空间规划体系高度契合，提示我们要从更大的空间范围、全视角、多维度思考未来的水利发展之路。因此本期刊出《天山北坡经济带"三生空间"发展格局与智能水网体系建设》，以期引发广大学者关注和探讨。

天山北坡经济带"三生空间"发展格局与智能水网体系建设

邓铭江

（新疆寒旱区水资源与生态水利工程研究中心，新疆 乌鲁木齐 830000）

摘 要： 天山北坡经济带是新疆生产力集中度较高，现代工业、农业、交通信息、教育科技等较为发达的区域，是国家丝绸之路经济带建设的核心区，对新疆经济社会发展具有重要的带动和辐射作用，国内生产总值均占全疆53%以上，工业增加值占全疆67%，城镇化率68.9%，远高于全疆42.1%的平均水平，然而水资源却仅占11%。为破解资源性缺水困境而实施的"两河调水"工程正在陆续建成发挥效益，如何优化配置原水与客水、高水与低水、地表水与地下水等各种水源，统筹协调区域、城乡、兵地、产业、经济社会与生态环境等各种需求，已成为亟待研究决策的重大现实问题。通过分析天北带水资源可利用量、生态环境需水量、水资源开发利用现状及存在问题，结合调水工程新增水量，提出了水资源优化配置的原则、贯彻新时期"十六字"治水思路和"五大"发展理念的实践路径与综合调控措施，主要学术观点和结论为：(1) 结合"两河调水"工程，在天山北坡建设东西连通的输水大通道，将由南向北流的逐条河流交叉连接起来，形成一个南北交汇，东西贯通，覆盖整个区域的"大水网"，实现全域水源优化配置。(2) 按照"以水定地，以水定产，以水定城，适水发展"的原则，强化国土空间管控，按照"生产空间集约高效，生活空间宜居适度，生态空间自然和谐"为原则，优化"三生空间"发展格局。(3) 打破旱区弱水资源承载力、高生态胁迫压力、低经济发展能力的桎梏，从水资源—经济社会—生态环境三个维度，科学把控"大水网"建设和水利发展定位，合理配置"三生用水"，耦合协调"三生关系"，实现生态保护和高质量发展。(4) 面向未来和新基建工程的喷涌发展，建设水物理网、水信息网、水管理网"三网合一"的智能水网势在必行，代表智慧水利的发展方向，也是当代水利科技前沿。

关 键 词：水资源；生态环境；优化配置；三生空间；发展格局；智能水网

文章编号：

收稿日期：2020-06-16； **修订日期**：2020-08-11

基金项目：国家重点研发计划（项目编号：2017YFC0404300、2016YFA0601602）

作者简介：邓铭江（1960-），男，博士，中国工程院院士，现兼任新疆科学技术协会副主席，教授级高级工程师，主要从事干旱区水资源研究与水利工程建设管理工作

1 研究区概况

1.1 社会经济概况

（1）研究区范围。狭域的天山北坡经济带（以下简称天北带）系指东起阜康、乌鲁木齐，西至乌苏、克拉玛依市的区域范围。2012年国务院批准的《天山北坡经济带发展规划》，将其东扩至哈密的伊州区、西延至伊犁的霍尔果斯口岸经济特区这一广域范围，位于我国"两横三纵"城市化战略格局中陆桥通道的西端，涉及23个县市，总面积23.46×10^4 km^2[1]。根据天北带水系分布和北疆供水、艾比湖流域生态环境保护工程供水范围，本文研究的规划范围为东起昌吉州木垒县、西至博州温泉县、阿拉山口市的区域范围（表1和图1）。

（2）区域发展定位。根据《新疆主体功能区规划》，该区是我国面向中亚、西亚地区对外开放的陆路交通枢纽和重要门户，全国重要的能源基地，我国进口资源的国际大通道，西北地区重要的国际商贸中心、物流中心和对外合作加工基地，石油天然气化工、煤电、煤化工、机电工业及纺织工业基地。

表1 新疆天山北坡经济带区域划分

Tab. 1 Zone Division of Economic Belt on the North Slope of Tianshan Mountains, Xinjiang

时间	规划名称	规划区域范围	研究区范围及所辖县市（团场）
2000	西部大开发-新疆开发规划	东起阜康、乌鲁木齐，西至沙湾、乌苏、奎屯、克拉玛依	**东段**：木垒、奇台、吉木萨尔
2001	"十五"规划	拓宽为乌鲁木齐—克拉玛依-阿拉山口	**中段**：乌鲁木齐、昌吉、阜康、呼图壁、玛纳斯、沙湾；石河子、五家渠、兵团六师、八师、十一师、十二师
2006	"十一五"规划		
2011	"十二五"规划	东起哈密，西至伊宁。包括乌鲁木齐-昌吉、吐鲁番-哈密、石河子-玛纳斯-沙湾、奎屯-克拉玛依-乌苏、博乐-阿拉山口-精河、伊宁-霍城-察布查尔六大经济区（获国务院批准）	**西段**：博乐、阿拉山口、精河、温泉；奎屯、乌苏、双河、克拉玛依；兵团五师、七师
2012	天山北坡经济带发展规划		

具有"通东达西、承北启南"的区位条件和丰富的资源优势，现代工业、交通信息、教育科技发达，农业集约化程度高，不仅是丝绸之路经济带建设的核心

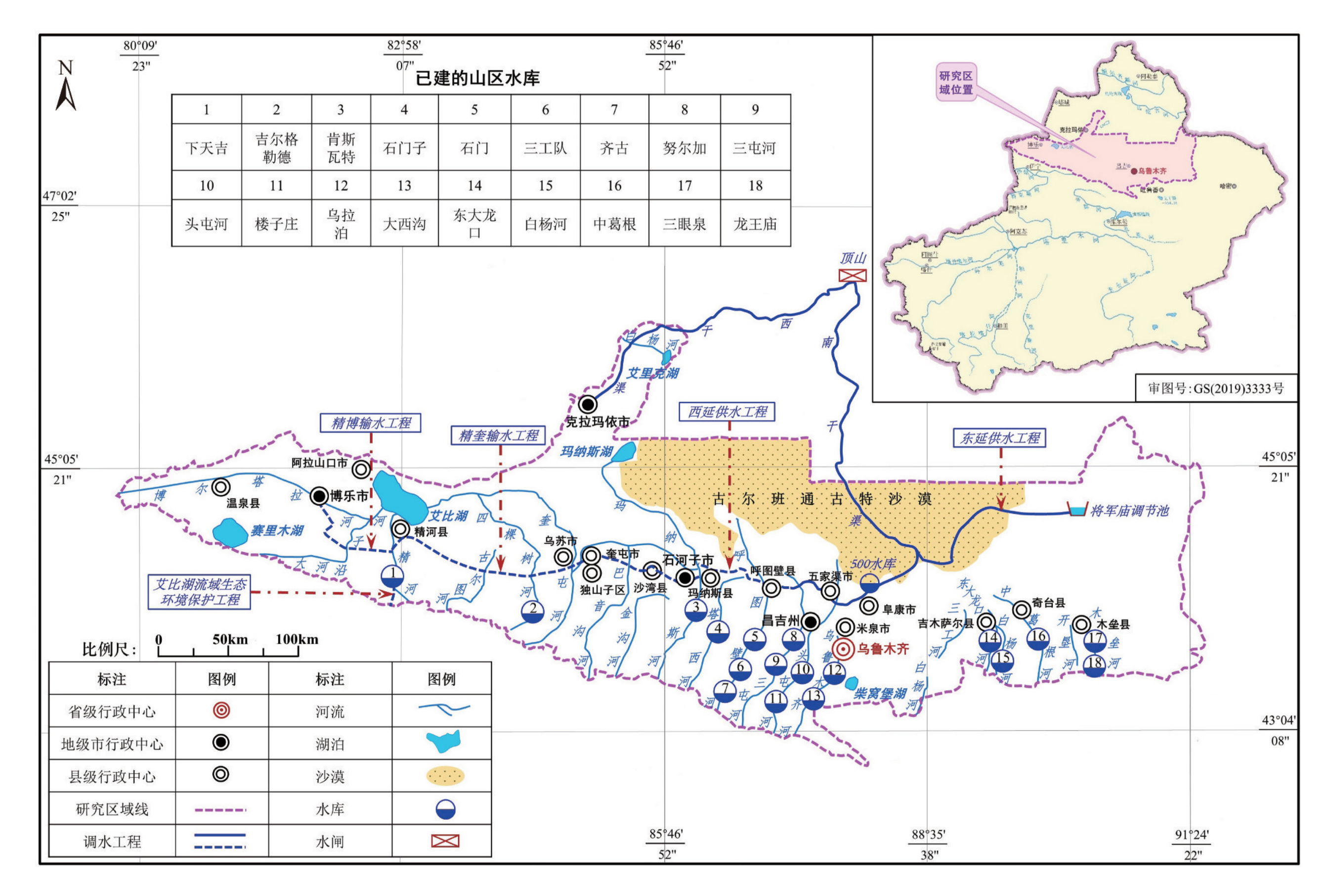


图1 天山北坡经济带范围及水系分布示意图

Fig. 1 Sketch of water system and scope of economic belt on the north slope of Tianshan Mountains, Xinjiang

区，同时也成为国家西部区域经济规划重点发展的综合经济带[2]。

（3）主要社会经济指标。2017年研究区总人口582×10⁴，占全疆25.5%。城镇化率68.9%，远高于全疆42.1%的平均水平。国内生产总值5 788.8×10⁸元，占全疆53.2%。其中，一产458.4×10⁸元，占29.5%；二产2 358.9×10⁸元，占54.7%；三产2 971.5×10⁸元，占59.3%。从主要行业看，工业增加值1 954×10⁸元，占全疆67.0%；建筑业488×10⁸元，占42.1%；运输、仓储和邮政业491×10⁸元，占73.5%；批发和零售业416×10⁸元，占59.2%。人均生产总值9.94×10⁴元，是全疆的2.1倍。灌溉面积2 145.3×10⁴亩，占全疆23.1%（表2和表3）[3]。

1.2 水资源概况

（1）地理气候。位于天山山脊线以北，古尔班通古特沙漠南缘，属温带干旱半干旱气候。年平均降水深254.1 mm，高于全疆平均值153 mm。最大降水月多发生在5～7月，最小降水月发生在1月。准噶尔盆地周边的平原区平均降水量150～200 mm，蒸发强度为1 600 mm，盆地中央和沙漠腹地平均降水量150～200 mm，蒸发强度为2 200 mm，干旱指数$I>7$，为典型的内陆干旱区。年平均气温6 ℃～7.2 ℃，极端最高气温30.5 ℃，极端最低气温−30.2 ℃。≥10 ℃的年积温1 150 ℃左右，无霜期约为120 d。

（2）水资源总量。结合水系分布和行政区划，将天山北坡划分为东段、中段和西段三个分区。根据1956—2000年系列的地表水和地下水资源评价成果，天山北麓水资源总量为115.4×10⁸ m³，占新疆水资源总量约8%。其中地表水资源量105.57×10⁸ m³，地下水天然补给量9.83×10⁸ m³（表4）[4]。人均占有水资源量为1 750 m³·人⁻¹，约为全国人均水资源占有量的70%，单位灌溉面积占有水资源量338 m²·亩⁻¹。

表2 天山北坡经济带人口及灌溉农业发展指标统计表

Tab. 2 Development index of population and irrigation agriculture of Economic Belt on the North Slope of Tianshan Mountains, Xinjiang

分区	总人口 / 10⁴人	城镇人口		农村人口		灌溉面积(10⁴亩)			
		/ 10⁴人	/ %	/ 10⁴人	/ %	农田	林果	草场	合计
东段	46.75	11.29	24.1	35.46	75.9	245.78	34.35	2.92	283.05
中段	430.70	338.00	78.5	92.70	21.5	1 113.27	158.74	13.64	1 285.65
西段	104.80	51.95	49.6	52.85	50.4	486.52	54.46	35.64	576.62
合计	582.25	401.24	68.9	181.01	31.1	1 845.57	247.55	52.20	2 145.32

表3 天山北坡经济带社会经济主要发展指标统计表 / 10⁸元

Tab. 3 Socio-economic development index of Economic Belt on the North Slope of Tianshan Mountains, Xinjiang / 10⁸ yuan

分区	地区生产总值	一产增加值	二产增加值	三产增加值	工业增加值	建筑业	运输仓储邮政业	批发零售业	人均地区生产总值(元)
东段	332.61	63.42	185.81	83.38	154.53	31.28	7.25	16.44	71 147
中段	4 548.30	265.86	1 766.57	2 515.86	1 452.51	370.52	449.16	341.46	105 602
西段	907.88	129.07	406.56	372.25	347.93	86.09	34.84	57.55	86 630
合计	5 788.79	458.35	2 358.95	2 971.49	1 954.98	487.90	491.26	415.45	99 421

表4 天山北坡经济带水资源分区及水资源评价（1956—2000年系列）

Tab. 4 Water resource zone & water resources evaluation of Economic Belt on the North Slope of Tianshan Mountains, Xinjiang (from 1956 to 2000)

水资源分区	年降水量 / mm	不同保证率地表水资源量 / 10⁸ m³				多年平均水资源量 / 10⁸ m³			
		P=20%	P=50%	P=75%	P=95%	地表水资源	地下水资源	地下水天然补给量	水资源总量
东段诸河	186.1	11.95	9.74	8.17	6.24	9.87	5.39	1.22	11.09
中段诸河	273.7	59.89	52.84	48.72	44.83	53.51	20.10	4.96	58.47
西段诸河	293.5	47.29	42.32	38.83	34.54	42.19	16.58	3.65	45.84
合计		119.13	104.9	95.72	85.61	105.57	42.08	9.83	115.40

(3) 地表水可利用量。地表水可利用量是在统筹考虑河道内生态环境用水基础上,可供河道外利用的一次性最大取水量。采用倒算法,从地表水资源总量中扣除不可以和不可能被利用水量求得。不可以被利用水量包括维持通河湖泊(湿地)所必需的水量、维持河道基本功能的生态基流量、满足平原径流散失区河道两侧天然植被生存的水量。不可能被利用水量系指径流深等值线图量算的平原区暴雨产流量,无法汇流形成河川径流的那部分水量,被当地生态消耗或补给地下水。如表5所示,天北带地表水可利用总量为70.0×10^8 m^3,占地表水资源量的66.3%。其中,西段为生态环境重点保护区,地表水可利用量仅占40.5%。

(4) 地下水可开采量分析。地下水资源是指地下水中参与水循环且可以更新的动态水量,主要评价与大气降水和地表水体有直接水力联系的平原区浅层地下水,即:埋深≤200 m、矿化度≤2 g / L区域的淡水资源量。地表水与地下水转换频繁,重复量大,地下水总补给量42.1×10^8 m^3,其中76%以上为重复转化量[4]。地下水可开采量是指在可预见期内,通过经济合理、技术可行的措施,在不引发生态环境恶化和地质灾害的条件下,允许从含水层中获取的最大水量。在未来渠系防渗程度和高效节水灌溉技术大幅提升的情况下,地下水补给量将急剧减少,可开采系数平均按0.45计算,可开采量为18.4×10^8 m^3(表5)。

2 生态环境现状及水资源利用存在的主要问题

2.1 生态环境现状

天北带以天山山脉为主轴,由南至北向准噶尔盆地延伸,呈典型的“山—盆”地貌格局。区域内分布有自治区级以上自然保护区28个,其中国家级自然保护区9个,自治区级自然保护区19个。区域内海拔由山地的5 000 m左右,降至沙漠边缘的200 m左右,降水递减,山区中低山带年降水量在500 mm左右,平原区约200 mm,北部沙漠区约100 mm。受海拔和水热梯度分布影响,形成了湿润山地到干旱盆地的“山地—绿洲—荒漠”的生态系统格局,垂直分带性特征十分明显,由盆地到高山,自下而上依次分布有荒漠带、山地草原带、山地森林带、亚高山草原带、亚高山草甸带、高山草甸带和高寒疏植被带。主要包括荒漠、草地、农田、灌丛、森林、城镇、湿地以及冰川等8类生态系统。

(1) 山地森林草原生态系统。山地森林生态系统以针叶林为主,阔叶林为辅。针叶林以天山雪岭云杉为建群种,并混有西伯利亚落叶松,广泛分布于山区阴坡或半阴坡。阔叶林主要为以山地桦木林和河谷杨树林为优势树种。草地生态系统具有水源涵养、水土保持的生态功能,也是重要的草原畜牧业生产基地。超载过牧是造成草地退化的根本原因,也是重要的人为因素,夏季山区草场过载率平均高达344%[5],特别是东段的奇台县和吉木萨尔县过载放牧问题最为严重。通过实施退牧还草、高标准人工饲草料地、草原生态监测体系、草原灾害防治等生态建设项目,天然草场整体恶化的趋势已得到有效遏制,局部生态开始好转,但是草地生态系统退化总体趋势尚未得到根本扭转,有约34%以上的草地还处于严重退化中,今后仍需加强山地生态环境保护的力度,“以草定畜”实现天然草地资源合理利用与生态保护良性循环。

(2) 平原绿洲生态系统。平原绿洲生态系统包括人工和自然两部分,人工绿洲生态系统主要以城

表5 天山北坡经济带多年平均水资源可利用量计算成果表 / 10^8 m^3

Tab. 5 Calculation of Available Annual Average Water Resources on the North Slope of Tianshan mountains, Xinjiang / 10^8 m^3

分区	地表水可利用量					地下水可开采量			可利用总量
	资源量	不能用	不可用	可利用量	可利用率	资源量	开采系数	可采量	
东段	9.87	1.05	0.88	7.94	80.4%	5.40	0.50	2.70	10.64
中段	53.51	2.50	6.02	44.99	84.1%	20.10	0.45	9.04	54.03
西段	42.19	0.35	24.75	17.09	40.5%	16.58	0.40	6.63	23.72
合计	105.57	3.90	31.65	70.02	66.3%	42.08	0.45	18.37	88.39

说明:1不能被利用水量系指平原区暴雨产流,无法汇流形成河川径流的那部分水量. 2不可被利用水量系指河道内生态用水

镇和农田生态系统为主，涉及水浇地、旱地和园地等农用地，以及城镇和厂矿用地，是人类主要的社会经济活动空间，也是最大的人工生态系统。天北带万元GDP能耗约1.561 t标准煤·$(10^4$元$)^{-1}$，远远超过全国平均值0.793 t标准煤·$(10^4$元$)^{-1}$，高能耗、高排放、高污染的工业格局仍然是区域主流[5]；中水回用率极低，生活污水处理达标率主要城市达到85%以上，但一般城镇仅达到40%～60%，乡村水环境治理刚刚起步；水资源过度开发利用，河道内生态用水急剧减少，造成河道断流、湿地消失、湖泊干涸，形成人工绿洲不断扩大，自然绿洲萎缩衰竭的局面；湖库水质呈现富营养化趋势，夹河子水库常年达到轻、中度富营养，八一水库、蘑菇湖水库、猛进水库和柴窝堡湖达到重度富营养。农田地膜、农药、化肥长期施用形成了严重的面源污染，大面积膜下滴灌，造成无水可排的局面，由此引发的污染物累积和土壤次生盐碱化问题十分突出。

(3)荒漠绿洲生态系统。西起博州，东至昌吉州奇台，跨度约1 300 km，是新疆荒漠化防治的重点区域。年降水量一般在100 mm以上，有一定数量的雨养天然植被，盖度10%～30%，灌木类植物主要有红柳、麻黄、沙拐枣、梭梭等，沙漠以固定半固定类型为主，以梭梭林为优势群系的荒漠植被，是抵御荒漠化的天然屏障[5]。主风向为偏西、偏北风，西部有阿拉山口和艾比湖，主要面临古尔班通古特沙漠沙丘活化南侵、阿拉山口大风造成艾比湖大面积干涸湖底风蚀和引发强沙尘天气的威胁；中、东部沙漠边缘地区，因受人类活动过度干扰和鼠害影响，主要面临沙漠化扩大和沙丘活化南侵的威胁。本区绝大部分区域具有一定的生态自然修复能力，因此，荒漠化防治应以保护自然植被为主，人工辅助恢复植被为辅。主要措施应以禁牧休牧、保护自然植被、防止沙丘活化、加强绿洲过渡带防护林建设为主。

2.2 水资源利用存在的主要问题

从用水情况看，2017年工业用水5.6×10^8 m^3，占5.2%，万元工业增加值用水定额28.5 m^3·$(10^4$元$)^{-1}$，为全疆平均水平的44%；城市和农村生活用水5.0×10^8 m^3，占4.6%；生态环境供水5.1×10^8 m^3，占4.7%；考虑地下水利用量大且利用效率高，按农田综合毛灌溉定额430 m^3·亩$^{-1}$测算，农业用水量约为92×10^8 m^3，占85.5%，总用水量为107.7×10^8 m^3。从供水情况看，地下水36.2×10^8 m^3，占33.6%；外调水量5.2×10^8 m^3，占4.8%；中水回用0.87×10^8 m^3，占0.8%；本区域地表水供水量约为66.4×10^8 m^3，占60.8%，总供水量为108.7×10^8 m^3。根据表4、表5水资源及可利用量评价成果，工业生活、农业、生态用水分别按95%、75%、50%的供水保障率进行平衡分析，不难看出，目前天北带通过跨流域调水、地表水过度开发、地下水严重超采维持着一个畸形的供水结构。

(1)生态用水被大量挤占，当地水资源已难以为继。一直以来天北带就是新疆“大建设，大开发”的重点区域，近10 a灌溉农业仍在持续增长，新增耕地超过20×10^4 hm^2，地下水位持续下降、河道内水资源枯竭、天然绿洲萎缩、沙漠化加剧、河湖生态环境恶化、天然绿洲退化等生态问题，已成为严峻的现实。主要原因是产业结构不合理、发展规模超过了水资源和生态环境承载能力。近85%的水都消耗在附加值不高的一产上，而且种植面积不断扩大，甚至深入到沙漠腹地，在缺水的背景下，依靠超采地下水“竭泽而渔”。目前天北带中小河流地表水的引用率超过90%，有的甚至被“吃干喝尽”。地下水全面处于超采状态，井深已由原来的100 m左右增加至目前的100～500 m，最深达到620 m。全疆9大地下水最严重超采区中有6个分布在该区域内，地下水超采率达到200%。艾比湖面积20世纪50年代为1 300 km^2，目前基本维持在540 km^{2}左右，成为北疆盐尘、沙尘的主要策源地；1955年玛纳斯湖面积为550 km^2，现已基本干涸，仅有少量灌区回归水维持零星的小水面和湿地；艾里克湖也曾一度干涸，2000年北疆供水工程建成后，实施生态补水，湖区生态才逐步得以恢复；柴窝堡湖水位下降，水体富营养化严重。如果自然河湖生态用水都得不到基本保障，天北带高质量发展和现代生态文明社会建设将成为一句空话。

(2)水事纠纷错综复杂，水资源管理体制亟待改革重构。我国实行“流域管理与行政区域管理相结合，区域管理服从流域管理”的水资源管理体制。天北带中小河流众多，且用水户行政隶属关系错综复杂，如奎屯河涉及伊犁州、塔城地区、克拉玛依、兵团七师，有“三方四属”之称。自治区水行政主管部门虽然在头屯河、玛纳斯河和金沟河设立了流域管理机构，但综合协调能力仍显薄弱。艾比湖

流域则实行的是属地管理与工程建设管理相结合的流域管理模式，如奎屯河由兵团七师实行流域管理，而骨干水利工程则沿袭"谁建设，谁管理"的老办法。地下水由于没有明确的权属，所以才有了竞相开采的恶果。在天北带构建"乌—昌—石"、"石—奎—克"城市群和国家能源基地，打破行政藩篱，实施产经一体化，早已是普遍关注的热点问题。再加上北疆供水工程和艾比湖流域生态环境保护工程实施后（以下简称两河调水工程），大量客水调入以及"大水网"体系建设的需要，在天北带建立一个高层次、权威性的流域管理机构势在必行。建立一个好的水管理体制，形成一个好的治水体系，是生态环境保护和高质量发展的迫切要求。

（3）缺乏顶层规划设计，水资源优化配置格局尚未形成。两河调水工程的实施，为破解天北带资源性缺水困境创造了条件，这是新疆三代水利人的梦想。关于受水区水资源配置问题，20 a前工程前期立项时就开展过具体规划论证，就提出了优化配置"原水与客水、高水与低水、地表水与地下水"等各种水源，统筹协调"区域之间、城乡之间、兵地之间、行业之间、经济社会与生态环境"等各种需求，全面推进"权、水价、水市场"制度与机制建设等科学宏大的规划设想。然而近年来，这些规划思想几乎无人问津，受水区水资源配置和配套工程建设严重滞后。在现代生态文明社会建设新时代背景下，我们应按照"五大发展理念"、"十六字"治水思路和"山水林田湖草生命共同体"的生态文明思想，与天山北坡经济带发展规划、新疆主体功能区规划、国土空间规划体系、新疆生态环境保护规划等相衔接，提出天北带"大水网"建设和"三生空间"优化布局与"三生用水"合理配置的顶层规划设计方案。要跳出水利看水利，从生态系统全视角、"水资源—生态环境—社会经济"多维度、水利工程"规划设计—建设管理—调度运行"全过程，科学把控水利发展定位。

3 "三生空间"优化布局与水利发展总体思路

3.1 国土空间规划与水利发展规划的关系

伴随着工业化、城镇化的快速推进，城市人口膨胀、土地资源利用低效浪费、环境污染日益加剧等"城市病"和以农村空心化、老弱化、污损化、非农化为主要特征的"乡村病"[6]，将会愈发严峻，未来的发展面临着资源约束趋紧、环境污染加重、生态系统退化的危机和挑战。面对发展困境，十八大提出要构建"生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀"的"三生空间"，指出了国土空间优化的目标和原则。

当前，国家正在建立"三区三线，多规合一"的"1+X"国土空间规划体系，"1"就是国土空间规划，是其他"X"专项规划的基本遵循。空间规划注重运用底线思维，在资源环境可承载的范围内，从更大区域、更高站位研判区域的发展，以生态保护红线、永久基本农田和城市开发边界作为"三条"底线，保护生态用地和基本农田，促进城镇建设用地集约高效[7]。把总体发展战略和空间布局、空间管控相结合，优化城镇、农业、生态三类空间，即生活、生产和生态"三生"空间（图2）。

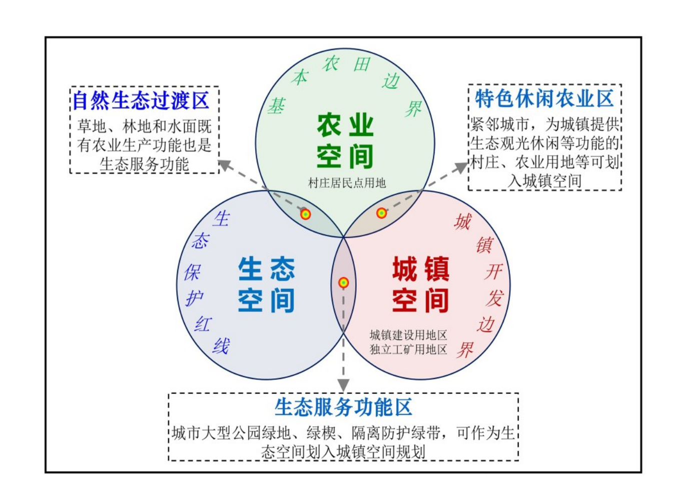


图2 国土空间规划"三区三线"关系图

Fig. 2 Relationships among three zones (agriculture zone, environment zone, urban zone) and three lines (famland border line, environment protection red line, urban exploration border line)

水资源是国土空间规划体系"最大的刚性约束"，在宏观战略层面，应当按照"以水定地，以水定城，以水定产，适水发展"的原则，以"水资源三条红线-用水总量、用水效率、限制纳污"为前置条件，为合理确定"三区三线"、优化布局"三生空间"提供决策支撑，同时也为优化后的"三生空间"合理配置"三生用水"。因此，为"三生空间"优化布局提供决策支撑，为与"三生用水"合理配置提供保障服务，

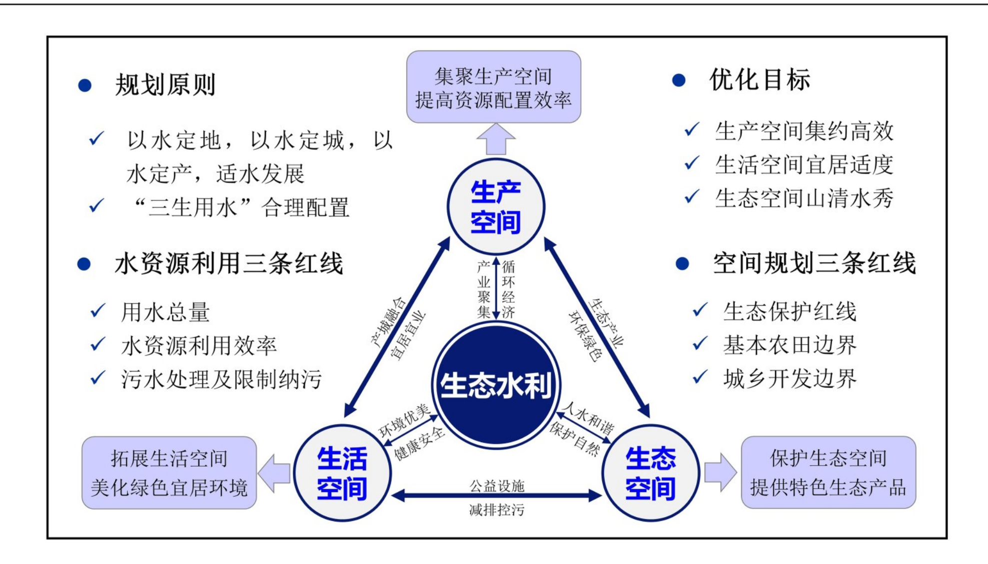


图3　“三生空间”优化布局与生态水利发展关系图

Fig. 3　Relationship between optimized layout of production-living-ecological space and ecological water develoment

就成为了新时期生态水利的重要任务(图3)。

3.2　优化“三生空间”发展格局

3.2.1　集聚生产空间,提高资源配置效率

(1) 生产空间集约开发。要按照建设资源节约型社会的要求,把提高空间利用效率作为国土空间开发的重要任务,引导人口相对集中分布、经济相对集中布局,走生产空间集约利用的发展道路。依托两河调水工程,提高资源环境承载能力,加快推进城镇化进程。按照生产发展、生活富裕、生态良好的要求调整空间结构,重点建设“乌—昌—石”、“石—奎—克”城市群,完善商业和服务产业,保持农牧业生产空间,使绝大部分国土空间成为保障生态安全和农产品供给安全的绿色空间。

(2) 社会经济协调发展。要按照人口、经济、资源环境相协调和统筹城乡发展、统筹区域发展的要求进行开发,促进人口、经济、资源环境的空间均衡。重点开发区域在集聚经济的同时要集聚相应规模的人口,农产品主产区和重点生态保护区应减少人口规模和占地规模。城镇化集聚的人口和经济规模以及产业结构,要充分考虑水资源和环境的承载能力,河流上中游地区开发要充分考虑对下游生态环境的影响,积极培育新的产业经济和城镇发展带,走产城融合、宜居宜业的发展模式。

(3) 节能减排发展循环经济。工业生产空间要按照发展循环经济和有利于污染集中治理的原则集中布局,提高土地空间利用效率。在人工绿洲适宜工业化、城镇化开发的国土空间,同样适宜农业开发,为保障农产品供给安全,不能过度占用耕地,污染农田。在发展有机绿色农业的同时,不能盲目开荒,破坏荒漠生态系统,保持必要的耕地和绿色生态空间,在一定程度上满足当地人口对农产品和生态产品的需求。各类生产空间都要有节制地开发,保持适当的开发强度。

3.2.2　拓展生活空间,美化绿色宜居环境

(1) 合理扩张城市空间。天北带城市群规划建设,对提升新疆在丝绸之路经济带中的核心竞争力和国际影响力有着极其重要的作用。当前,兵地一体化、乌昌一体化、奎独乌一体化合作进程正在加快,一体化发展趋势日益明显[8]。在城市建设中,必须为农村人口进入城镇预留生活空间,扩大居住、公共设施和绿地等建设空间,并优化与之相适应的人口经济规模以及产业结构。与此同时,因地制宜建设好县城和各具特色的绿洲经济型小城镇,严格控制乡镇建设用地扩张。

(2) 美化乡村牧区空间。坚持最严格的耕地保护制度,确保耕地和基本农田总面积不减少、用途不改变、质量有提高。增加农村公共设施空间,按照农村人口向城市转移的规模和速度,逐步减少农村生活空间,将闲置的农村居民点等复垦整理成农业生产空间或绿色生态空间。按照“草畜平衡,小开发大保护”的原则,建设高标准的人工饲草料基地和牧民定居新村,发展现代农业和现代畜牧业。按照统筹城乡的要求,逐步提高农村牧区基础设施和公共服务设施建设水平。

(3) 便捷交通设施空间。交通基础设施的建设规模、布局、密度等,要与人口、经济规模和产业结

构相协调。扩大与国内城际之间，以及与中亚南亚国家之间交通建设空间。城市群之间加强综合运输体系建设和城市道路网建设，提高铁路、公路、空运等多种运输方式之间的中转和衔接能力，打造快捷交通走廊、"半小时"城市经济圈、"一小时"城市经济带。完善城镇乡村"四级路网"和旅游交通体系，拓展生活空间。

3.2.3 保护生态空间，构建山水林田湖草生命共同体

（1）巩固"山区—绿洲—荒漠"生态空间结构。在山区即水资源形成和水源涵养区，严格实施天然林和草原生态保护计划，减牧育草，合理利用天然草地，科学发展草原畜牧业；在人工绿洲水资源利用区，合理扩大城市绿地，适度建设水景观，优化农田林网结构，严格防控污染，有效调控水盐平衡，推进现代灌区建设，内涵挖潜，自律发展；在荒漠绿洲水资源耗散区，确保生态用水，禁止开采地下水，建立禁牧禁樵区，根本扭转"山区草原生态退化—绿洲次生盐碱化—河流下游荒漠化"的不良局面。

（2）修复河流上下游"廊道式"生态景观格局。干旱内陆河流域生态景观的傍河性、廊道式特征十分明显。天北带主要河流地表水引用率平均已超过90%以上，如玛纳斯河、奎屯河几乎达到100%，天然水系统中的河湖结构已支离破碎。基于"山区产汇流—绿洲社经利用—荒漠生态保护"的水功能定位和水资源"供、用、耗、排"平衡分析，按照"'修复'和'自然化'，环境质量有一定程度改善"的原则，确立河道内与河道外引水"三七调控"临界调控阈值[9]，即一条河流必须将不少于30%的径流量，留作河道内自然生态用水，修复自然河流地貌和河湖生物群落。

（3）构建山水林田湖草生态系统。70%的地表水被引入绿洲后，其中的30%还将消耗于绿洲内生态环境建设，如公益林、生态林建设，城市绿地、水景观建设，农田林网化、农村园林化建设等。这就是所谓的河道内与河道外引水"三七调控"、经济与生态耗水"五五分账"的水资源调控模式[9-10]。"山区—绿洲—荒漠"构成的自然生态空间，伴河形成的"河湖廊道式"生态景观，与绿洲内城镇、乡村、农田及其供水网络建设，共同构成各生态单元互动连通的山水林田湖草"大生态"系统。

3.3 水利发展总体思路

3.3.1 水资源优化配置原则

（1）"三先三后"原则。"先节水，后调水；先治污，后调水；先生态，后开发"是水资源合理配置的基本原则。从目前已实施的调水工程来看，成本水价多在5～10元·m^{-3}，同时也会产生一些新的生态环境问题。随着城镇生活和工业生产用水量的大幅增加，大量污废水处理、排放和回用是一个不容忽视的重要问题。对于城市生活用水来说，每增加1 m^3供水，就会产生约0.7 m^3污水，而每处理1 m^3污水需花费成本1.4元·m^{-3}，工业污废水处理成本则更高[4]。因此，"节水—治污—生态—调水"都是同等重要的关联问题，从节约供水成本、调水成本、治污成本、环保成本来看，节水是首要的关键环节，调水则是重要的水源补充。

（2）"三定一适"原则。"以水定地，以水定产，以水定城，适水发展"是水资源刚性约束的基本要求。"以水定地"是指遵循水的循环规律，确定土地利用和生态保护格局，主要用于"三生空间"优化和国土空间管控。"以水定产"是指要按照水资源禀赋条件，优化调整产业布局、产业结构及产业升级，主要用于经济结构调控和提高水的利用效率效益。"以水定城"是指要通过用水结构调整扩大并提升城市空间及其集聚效应，按照生产发展、生活富裕、环境友好、产城融合的要求，建立人水和谐、美丽宜居、有吸引力的新社区，主要用于城镇人口、规模布局和生态环境建设。把水资源作为最大的刚性约束，以水而定、量水而行，适水发展。

（3）"高水高用，低水低用"原则。"原水与客水，高水与低水，新水与老水"统筹协调是工程调配的基本原则。目前已在天北带23条大小河流上建成18座山区水库，水源高程多在海拔900 m以上（图1）。而北疆供水工程和艾比湖流域生态环境保护工程引入的客水海拔高程分别在500 m和700 m以下。因此为了避免大规模扬水，必须打破原有的配置格局和原水的供水范围，通过水量置换和水权转让，实现"原水与客水，高水与低水"合理调配、高效利用。建立和完善国家生态功能区纵向补偿、调水受益区横向补偿、本流域损益奖罚的生态补偿机制和"新水新价，老水老价"水价形成机制，推动天北带"大水网"健康、有序、高效运转[10]。

3.3.2 现代治水新思路

一个好的治水体系，要依靠正确的治水理念、先进的技术和严格的管理制度。针对天北带水资源特征，以水问题为导向，从跨流域调水与区域平衡发展、流域上中下游统筹与绿洲结构优化、水资

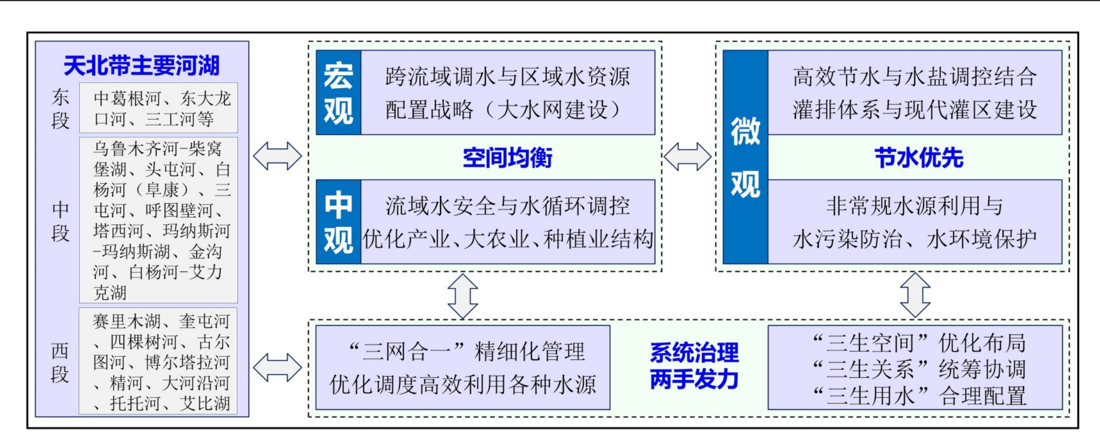


图4　新时期天山北坡经济带治水思路框图

Fig. 4　Block diagram of water resources governance of Economic Belt on the North Slope of Tianshan Mountains in new period

源高效利用与绿洲生态环境保护等3个调控视角，遵循“节水优先，空间均衡，系统治理，两手发力”治水思路，构建新时期水利发展新模式、新格局，努力实现三大调控目标，即提高区域水资源与生态环境承载力、维护人工绿洲与天然绿洲合理结构、提升经济社会用水效率与效益，最终实现“水资源—生态环境—经济社会”协调可持续发展(图4)。

（1）节水优先，高效利用。从观念、意识、措施等环节入手，全面推进农业、工业和生活等全社会全过程节水行动。天北带资源性缺水、竞争性用水、掠夺性开发，造成的水生态损害、水环境污染等问题十分突出。灌溉农业用水量大、用水结构不合理、灌区水盐平衡失调，造成的耕地盐碱化、水利用效率和效益低等问题十分突出。在水资源过度开发利用的现实情况下，在生态文明建设及其刚性需水的前提下，必须适度控制农业发展规模，建设现代化灌区，发展高效节水农业。

（2）空间均衡，合理配置。根据水资源分布和禀赋条件，科学规划区域发展布局，合理配置“三生”用水，做到各种资源要素空间均衡、协调适配。在时间上，水资源年内和年际分布不均，表现为春旱、夏洪、秋缺、冬枯，河流来水季节波动很大，需建设山区水库调节水资源年内或年际分配；在空间上，水资源与土地、能源、矿产、城市、人口等资源要素极不匹配，要在坚持“三定一适”的同时，加快两河调水工程的建设，构建“大水网”体系，提高区域资源环境承载能力。

（3）系统治理，保护生态。干旱区内陆河流域“山区—绿洲—荒漠”是一个完整自然的水循环过程，上中游过度增加用水，必然会造成下游水量的减少，荒漠生态环境恶化。必须统筹协调好“山地、河流水域、人工绿洲、自然绿洲、戈壁荒漠”五大生态单元的平衡关系，宜农则农、宜草则草、宜林则林、宜荒则荒，探索“绿水青山”转化为“金山银山”的有效路径，留够河道内自然生态用水，修复“河湖廊道”生态景观和生物群落，构建山水林田湖草“大生态”系统。

（4）两手发力，健全机制。水的公共属性和商品属性，要求发挥好政府和市场“两只手”的协同作用。自然资源部门负责水的权属监督管理，生态环境部门负责水的质量和水生态、水环境的监督管理，水利部门要在社会水循环与自然水循环调控管理、节水与城乡水务一体化管理、重大基础设施建设与生态调度、国家水安全保障等方面发挥重要作用。利用水价对节水减排及供求关系的调节作用，以实现农业节水和农田水利工程良性运行为目标，建立精准的补贴和节水奖励机制。

3.3.3　“五大”发展理念的实践路径

（1）创新驱动发展，调整空间结构。建设高度一体化的城市群体，是天北带工业化和城镇化发展到高级阶段的必然产物。要以市场主导，互利合作，打破行政壁垒，防止城市建设和产业园区建设中的雷同现象，加大引进创新力度，建立横向错位发展、纵向分工协作的新格局，促使生产要素在合理流动中谋求优势互补。优化产业结构，调整经济发展方式，由资源推动型向创新驱动型、由投资拉动型向开放带动型转变。提高资源空间配置效率，按照生产发展、生活富裕、生态良好的要求，提升城市群空间集聚效应，保证生活空间宜居宜业，保持农牧业生产空间绿色环保，维护生态空间结构健康，大力发展

生态旅游产业。

（2）协调统筹发展，促进空间均衡。要按照人口、经济、资源环境相协调和统筹城乡发展、统筹区域发展的要求，进行整体性协调开发，促进空间均衡发展。重点开发区域在集聚经济的同时要集聚相应规模的人口，有序承接限制开发和禁止开发区域的转移人口，同时要充分考虑水资源的承载能力，河流上游地区的各种开发要充分考虑对下游地区生态环境的影响，保障下游地区的农业生产、居民生活用水及流域生态用水。城市建设和交通基础设施建设应合理利用地下或地上空间，城市基础设施和公共服务设施延伸到农村居民点，逐步提高农村基础设施建设水平。

（3）绿色集约发展，强化污染防控。要按照建设资源节约型社会的要求，把提高空间利用效率作为国土空间开发的重要任务，引导人口相对集中分布、经济相对集中布局，走空间集约利用的发展道路，使绝大部分国土空间成为保障生态安全和农产品供给安全的空间。工业项目建设要按照发展循环经济和有利于污染集中治理的原则集中布局，交通建设要尽可能利用现有基础和既有交通走廊扩能改造，树立绿色发展理念，加快建设资源节约型、环境友好型社会，形成人与自然和谐发展现代化建设新格局。

（4）开放联动发展，聚集产业高地。当前天北带各城市之间"产业雷同现象严重、重化工业比重偏高，传统产业和高载能比重偏大、高技术产业发育滞后"等现象普遍存在。必须建立开放合作、引进带动、内外联动、互利共赢的一体化发展机制，集约发展先进的制造业和高新技术产业，高效发展现代化的特色精品农业。充分发挥地缘优势、资源优势和市场优势，推动疆内外和境内外产业互补与资源共享，力求在开放模式、开放机制和开放政策等方面实现新突破，把天北带建成为立足全疆、辐射中亚、联动"一带一路"沿线的开放型核心区。

（5）共享安全发展，提升民生质量。总体上看，天北带提供工业和农副产品的能力不断增强，提供生态产品的能力却在逐渐减弱。而随着人民生活水平的提高，人们对清新空气、洁净饮水、安全食品、优美环境等生态产品的需求将不断增加。因此，必须把优化"三生空间"、提供优质生态产品作为发展的重要内容。统筹推进经济社会发展、基础设施建设、生态环境保护、污染防治和基本公共服务的一体化发展新格局，促进产城融合、民族融合和兵地协调发展，提升社会稳定和长治久安能力，使其成为新疆率先基本实现现代化的试验示范区。

3.4 综合调控措施

3.4.1 人口及产业结构优化调整

（1）引导城市—人口—经济走空间集约发展的路子。考虑到人口的聚集效应，未来城镇人口比重将达到85%，在城市规划和建设中，要优先考虑水资源问题，大尺度上按照水资源承载能力确定人口及城镇规模，中尺度上按照水系统的空间结构确定人口及城市布局，小尺度上按照水循环特征确定城市建设模式。城市建设要重视亲水设计，越干旱的地区，居民亲水意愿越强烈。适度的亲水网络建设，有助于提高宜居度和人们的心理舒适度，对社会稳定、长治久安有积极作用。

（2）优先保障工业、市政建设和第三产业发展用水。未来15 a是工业化快速发展和需水量大幅度增长的重要时期，2017年工业增加值1 954×10^8元，万元工业增加值用水定额28.5 m^3·(10^4元)$^{-1}$，若工业产值年增长率按11%、用水定额按25 m^3·(10^4元)$^{-1}$计，预计到2035年工业用水量将由现状的5.6×10^8 m^3，增加到22×10^8 m^3。城乡居民生活用水、城市景观生态用水、第三产业用水、农村庭院环境用水等都将大幅提升。因此，首先要做好产业结构和"三产"用水结构优化调整这篇大文章。

3.4.2 农业与种植业结构优化调整

（1）按照"减农、固林、增草"的原则优化大农业结构。适度压减农田灌溉面积，特别是地下水超采区、深井灌区、生态环境保护区的种植规模。巩固和修复农田防护林网，基本保持现有林果业发展规模，重视绿洲内部生态环境建设，结合"新疆准噶尔盆地南缘防沙治沙规划"，以当地乔灌草植物类型为主，机械治沙与植被固沙相结合，建设绿洲外围防风固沙林带。以实现草田轮作、修养土地、草畜平衡为目标，扩大优质饲草料种植面积，减轻山区草原过牧压力，发展农区畜牧业。

（2）按照"保粮、减棉、优果"的原则调整种植业结构。实行严格的基本农田保护制度，确保粮食安全。天北带作为次宜棉区，要按照质量效益原则，减少棉花种植规模。适度扩大优质瓜果、蔬菜等经济作物的种植规模，大力发展绿色生态农业、乡村

休闲旅游、现代设施农业，提高农产业的附加值，使广阔的农业国土空间成为为城市和居民供给安全、有机农副产品的绿色生态空间。

3.4.3 需水管理与供水水源优化配置

（1）强化需水管理，合理配置“三生”用水。首先要根据干旱内陆河流域所构成的“山区—绿洲—荒漠”自然生态空间结构，合理确定生态用水和可供经济社会发展的水资源可利用量。然后再统筹各种水源，节水优先，以供定需，合理配置城乡居民生活（含生态环境供水）、工业生产和农业生产用水。目前天北带农业、工业、生活用水量结构大体为85∶5∶10，灌溉农业用水比重过大，2035年两河调水工程实施后用水结构预测将调整为70∶17∶13[11-12]。

（2）构建“大水网”体系，优化配置各种水源。两河调水工程实施后，扣除输水损失，可为天北带增加约26亿m^3的可供水量。因此，必须加快建设受水区水资源配置工程，构建“大水网”体系，联合各河流上的山区水库，实现原水、客水、中水等各种水源有效调控和优化配置。加大中水回用力度，并主要用于景观工程和生态环境保护，目前米泉和蘑菇湖水库污灌区，已造成部分农田污染物超标，严重影响农副产品的安全和销售。

4 构建“三网合一”的智能水网工程体系

水网和电网、交通网、信息网并称为现代社会的四大基础性网络，然而智能化水网建设却远落后其他网络和经济社会发展的要求。智能水网由河流水系和各类水利基础设施组成的水物理网、基于互联网和智能化特征的水信息网、体现现代监管体制和科学调控决策的水管理网三部分构成，是智慧水利、现代水利的基础设施和实现途径[13]。在新时期治水需求和技术进步驱动下，智能水网所代表的现代水管理模式已成为全球水管理的前沿理念，并成为当前各国水务管理的优先选择[14]。

4.1 水物理网层级结构

（1）天北带区域“大水网”工程架构。结合两河调水工程，在天北带建设东西连通的输水大通道，将由南向北流的逐条河流交叉连接起来，形成一个南北交汇，东西贯通，覆盖整个天北带的“大水网”。目前，北疆供水一期工程及“500”东延供水管道、西延干渠已建成，艾比湖流域生态环境保护工程及精—奎输水管道工程也已开工建设。因此，天北带“大水网”水资源配置框架格局已基本形成。

（2）流域水网及水网工程结构要素。水网是水循环的载体，系指自然河湖和人工给排管（渠）网设施所组成的连通水系，由河湖自然水网、城乡给排水管网、农田灌排渠网和通道、节点、流量、质量、规则五大基本要素组成。水网工程则是搭建在水网上的各种水利设施，如水库、引水工程、灌溉渠道、闸泵、机井、农田排水、城乡给排水、污水处理、中水回用、海绵城市建设等相关设施。水网工程的科学调控、联合调度对于保障健康的水循环、维护优良的水网结构至关重要。

4.2 水信息网服务功能

（1）多维感知的信息监测功能。基于已有的水利信息化基础，应用物联网、卫星遥感、卫星定位、无人机、视频监控等现代信息技术最新成果，建设河流湖泊、水资源管理、工程运行管理、农村水利管理、生态环境监测网络，构建空天地一体化监测体系，提高感知能力，扩大和完善感知对象。 全面感知雨情、水情、工情、墒情、盐渍、水质、气象动态，提升防洪抗旱调度、水资源配置与利用、生态调度与生态修复、工程运维与供水管理的科技水平[15-16]。

（2）协同共享的信息应用功能。在水利监测站网的基础上，实现与住建、环保、国土、气象等相关部门的涉水数据的交换，充分利用公网资源，扩大互联范围，扩充互联通道，延伸水利业务网，逐步形成多元化采集、主体化汇聚、智能化分析的水利大数据和云平台，开发专业化的终端业务应用系统，提升对基础水务信息的处理和管理能力，实现“云+网+端”现代水利新模式，为智慧水利提供更快捷、更全面的信息支撑和服务[17]。

（3）科学智能的决策服务功能。大数据分析是智慧水网的核心引擎，其既有的分析方法包括传统的数据挖掘、统计分析、机器学习、文本挖掘及其他新兴方法（如深度学习）等。海量艰巨的工作是要结合水利业务特点和需求，利用水利大数据分析方法建立模型，并发挥其强大的关联分析能力，建立和不断完善水利大数据平台。如：基于大数据和传统分析方法，建立气象、洪水、干旱模拟预测、水资源评价、水资源配置和水资源调度等模型；利用图形图像处理技术，实现水利数据可视

化表达[16-17]。

4.3 水管理网决策功能

（1）水资源系统智能化管理平台。按照流域管理与区域管理相结合的原则，划为省区、流域和区域等三级管理网络，其关键技术为城乡供水、农业灌溉、水力发电、防洪抗旱、水资源保护、水生态修复等复杂水资源系统多目标调控。在水需求不断增加，水问题日益突出的矛盾冲突中，水管理网作为实现水安全保障、水生态健康、水环境友好、水资源高效利用的现代化综合性管理平台，将会发挥重要的决策管理作用，并通过多层级、多部门的协同联动，保障既定水资源管理目标的实现。

（2）水资源系统智能化调度平台。水调度网是智能水网的中控枢纽，主要功能是实现科学决策和精准控制，其中涉及基于水资源管理目标和调度预案适时生成的调度方案或指令、通过调度"水物理网"及水网工程精准控制执行调度指令、应用"水信息网"及监测预报技术科学有效地生成下一时段调度方案或指令等三个环节[18]，期间还包括对前期方案的滚动修正，以及对突发情景的应急处置等问题。如此循环往复、适时修正、有效调控，最终实现"三网合一"的水资源调度管理目标。

5 结论、政策建议与展望

5.1 结论

（1）天北带大量挤占生态用水、严重超采地下水维系的供需关系不可再持续，全面科学评价地表水可利用量和地下水可开采量，在确保河道内生态环境用水基础上，巩固"山地—绿洲—荒漠"生态结构，节水优先，统筹原水、中水、客水等各种水源，是做好区域发展规划、保障流域水安全的重要条件。

（2）本文提出"三生空间"优化布局—"三生关系"统筹协调—"三生用水"合理配置、双向优化的规划新思路，与国家构建"三区三线，多规合一"国土空间规划体系高度契合，我们应从更大空间范围、全视角、多维度思考未来的水利发展之路。

（3）构建水物理网、水信息网、水管理网"三网合一"的智能水网，是本文的一个创新点，代表智慧水利的发展方向。天北带建设智能水网的条件已基本形成，要做好顶层设计，画好智能水网"一张图"，研发智慧水利云平台，为空间大数据分析、规划协调和决策提供支撑。

5.2 政策建议

（1）天北带城镇化及城市群发展、综合性能源基地建设、现代农牧业产业体系培育等具有巨大潜力和良好前景，对新疆经济社会发展具有重要的辐射带动作用。因此，以新时期"十六字"治水思路和"五大发展理念"为指导，着眼全局，谋划长远，做好顶层设计意义重大。

（2）强化需水管理，把水资源、水生态、水环境承载力作为刚性约束，按照"三定一适"规划原则，以生态保护红线、基本农田和城市开发边界作为"三条"底线，把总体发展战略和空间布局、空间管控耦合一体，实现"三生空间"优化布局、"三生用水"合理配置的规划目标。

（3）从节水、蓄水、调水三个环节，优化水资源配置格局，提高水安全保障能力。统筹农田规模调减、种植结构调整、产业结构优化、高效节水技术等综合节水措施的应用，系统评价山区水库和平原水库调蓄作用，探讨替代平原水库的可行性，把控好调水与当地水合理配置的协同调度。

（4）抓好恢复河道内生态用水、治理地下水超采区两项关键措施，推动"山水林田湖草"系统治理。探索"山地—绿洲—荒漠"生态系统治理模式，完善河湖长管理体制，建立生态补偿机制，激励生态保护和建设，推进水权、水价、水市场改革创新。

5.3 研究展望

（1）水资源配置与工程布局研究。天北带"大水网"是由两河调水工程与天山北坡诸河流及各条河流上的山区水与平原水库、众多的配水工程、连通渠道、分水闸、提水工程等构成的一项极其复杂的系统工程，需应用大系统方法对其联合调度运行开展深入研究。

（2）河道内生态用水与生态修复研究。开展水文情势与生态响应关系研究，确定关键物种对水环境因子变化的耐受范围和阈值，探索维护河湖生态系统健康的河道生态流量计算方法。制订和完善生态调度规则，跟踪监测和评估生态修复效果。

（3）"三生用水"与"三网合一"的现代水利发展模式和治理体系研究。打破旱区弱水资源承载力、高生态胁迫压力、低经济发展能力的桎梏，从生态环境—社会经济—水循环调控三个维度，提出保障流域高质量发展的"三生用水"优化配置方案，探索"三网合一"的现代水利发展新模式和以河湖长制为代表的现代水资源管理体制建设。

参考文献(References)

[1] 新疆维吾尔自治区人民政府. 天山北坡经济带发展规划[R]. 2012. [People's Govemment of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Development plan for the Economic Belt on the north slope of Tianshan Mountains[R]. 2012.]

[2] 新疆维吾尔自治区发展和改革委员会. 新疆维吾尔自治区主体功能区规划[R]. 2017. [Development and Reform Commission of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Main functional zone plan of Xinjiang Uygur Autonomous Region[R]. 2017.]

[3] 新疆统计局. 新疆统计年鉴 2017[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017. [Xinjiang Statistics Bureau. Xinjiang statistical yearbook 2017[M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.]

[4] 邓铭江, 章毅, 李湘权. 新疆天山北麓水资源供需发展趋势研究[J]. 干旱区地理, 2010, 33(3): 315-323. [DENG Mingjiang, ZHANG Yi, LI Xiangquan. Development trend of water supply and water demand in the north of the Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(3): 315-323.]

[5] 中国工程院重大咨询项目. 新疆天山北坡经济带生态文明建设战略研究: 天山北坡经济带面临的重大资源环境问题[R]. 新疆环境保护科学研究院, 2016. [Major Consulting Projects of Chinese Academy of Engineering. Strategic research on ecological civilization construction in the Economic Belt on the North Slope of Tianshan Mountain in Xinjiang: Major resources and environmental problems faced by the Economic Belt on the North Slope of Tianshan Mountain [R]. Xinjiang Academy of Environmental Protection Science Institute, 2016.]

[6] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304. [LIU Jilai, LIU Yansui, LIU Yurui. Classification evaluation and spatial- temporal analysis of “production- living- ecological” spaces in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 72(7): 1290-1304.]

[7] 严金明, 陈昊, 夏方舟. “多规合一”与空间规划: 认知、导向与路径[J]. 中国土地科学, 2017, 31(1): 21-27. [YAN Jinming, CHEN Hao, XIA Fangzhou. Integration of multiple plans and spatial plan: Cognition, guidance and path[J]. China Land Science, 2017, 31(1): 21-27.]

[8] 方创琳. 天山北坡城市群可持续发展战略思路与空间布局[J]. 干旱区地理, 2019, 42(1): 1-11. [FANG Chuanglin. Strategic thinking and spatial layout for the sustainable development of urban agglomeration in northern slope of Tianshan Mountains[J]. Arid Land Geography, 2019, 42 (1): 1-11.]

[9] 邓铭江, 石泉. 内陆干旱区水资源管理调控模式[J]. 地球科学进展, 2014, 29(9): 1046-1054. [DENG Mingjiang, SHI Quan. Management and regulation pattern of water resource in inland arid regions[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(9): 1046-1054.]

[10] 钱正英, 沈国舫, 潘家铮. 西部地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究(综合卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2004. [QIAN Zhengying, SHEN Guofang, PAN Jiazheng. Strategic study on allocation of water resources, conservation and upgrading of eco- environment and sustainable development in northwest China (comprehensive volume)[M]. Beijing: Science Press, 2004.]

[11] 邓铭江, 李湘权, 郑永良, 等. 奎屯河流域“金三角”地区工业及城镇化发展未来的水资源配置分析[J]. 干旱区地理, 2010, 33 (3): 315-323. [DENG Mingjiang, LI Xiangquan, ZHENG Yongliang, et al. Water resource future allocation for industry development and urbanization in Golden Triangle Zone, Kuitun River Basin[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(3): 315-323.]

[12] 邓铭江, 李湘权, 龙爱华, 等. 支撑新疆经济社会跨越式发展的水资源供需结构调控分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(1): 1-11. [DENG Mingjiang, LI Xiangquan, LONG Aihua, et al. Regulation of supply and demand structure of the water resources and support economic and social leap-forward development of protection measures[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(1): 1-11.]

[13] 王建华, 赵红莉, 冶运涛. 智能水网工程: 驱动中国水治理现代化的引擎[J]. 水利学报, 2018, 49(9): 1148-1157. [WANG Jianhua, ZHAO Hongli, Ye Yuntao. Smart water grid project: The engine driving China's water management modernization strategy [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(9): 1148-1157.]

[14] LEE S W, SARP S, JEON D J, et al. Smart water grid: The future water management platform[J]. Desalination and Water Treatment, 2015, 55(2): 339-346.

[15] 李志杰. 智能水网工程: 智慧水利建设现状分析与发展思考研究[J]. 计算机产品与流通, 2019, (11): 283-284. [LI Zhijie. Smart water grid: Status analysis and development thinking of smart water construction[J]. Computer Products and Circulation, 2019, (11): 283-284.]

[16] 蔡阳. 智慧水利建设现状分析与发展思考[J]. 水利信息化, 2018, (4): 2017-2019. [CAI Yang. Status analysis and development thinking of smart water conservancy construction[J]. Water Resources Informatization, 2018, (4): 2017-2019.]

[17] 蒋云钟, 冶运涛, 赵红莉. 智慧水利大数据内涵特征、基础架构和标准体系研究[J]. 水利信息化, 2019, (4): 6-19. [JIANG Yunzhong, YE Yunzhong, ZHAO Hongli. Research on connotation and features, basic architecture and standard system hydrological big data for smart water conservancy[J]. Water Resources Informatization, 2019, (4): 6-19.]

[18] 王建华, 赵红莉, 冶运涛. 城市智能水网系统解析与关键支撑技术[J]. 水利水电技术, 2019, 50(8): 37-44. [WANG Jianhua, ZHAO Hongli, YE Yuntao. Systematic analysis and key supporting technologies of urban smart water grid[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019, 50(8): 37-44.]

Development pattern of production-living-ecological spaces and construction of a smart water network system for the Economic Belt on the North Slope of the Tianshan Mountains

DENG Ming-jiang

(*Cold and Arid Regions Water Resources and Ecological Water Engineering Research Center, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China*)

Abstract: The economic belt on the north slope of the Tianshan Mountains is a highly developed area with modern industry, agriculture, transportation, information, education, science, and technology, and is a concentration of higher productivity in Xinjiang. It is the core zone of the national Silk Road economic belt, and playsan important leading and radiating role in Xinjiang's economic and social development. Its GDP accounts for more than 53% of Xinjiang, its industrial added value accounts for 67% of Xinjiang's, and its urbanization is 68.9%, which is far higher than the average value of 42.1%. However, its water resources account for only 11% of that of Xinjiang. Thus, the Water Transfer Projects of Two Rivers are being implemented, one after the other,to solve the water resource shortage. Meeting various water resource requirements has become an important problem, not only for optimizing water allocation, such as water originating in the basin and that flowing from outside basin, water located at higher and lower elevation, ground water and surface water, and so on, but also to coordinate water for urban and rural areas, military units and local governments, various industries, economic society, and ecological programs. This paper analyzes water use, ecological water requirements, the current situation, and existing problems of water exploitation and use. Combined with additional new water resources provided by the projects mentioned above, this paper provides principles for optimized allocation of water resources, practices water resources governance, and five objective ideas for development and comprehensive regulation measures, and reaches the following conclusions. (1) Combined with the Water Transfer Projects of Two Rivers, a water channel running east to west on the north slope of the Tianshan Mountainsconnects rivers running from the south to the north, allowing water to flow south-north and east-west. The projects realize optimized water resource allocation in the region covered with a Big Water Network. (2) Following the principle of water determining land use, agricultural yield, city development, and economic development, national land use policies should be strengthened to be controlled and administrated and the production-living-ecological spaces development pattern should be optimized based on the principles of intensive and efficient production space, livable moderate living space, and natural harmony with ecological spaces. (3) To break the limits that arid area face with weak water resources workloads and high pressures of ecological stress and low economic development ability, the Big Water Network will be built scientifically based on thinking from the three dimensions of water resources, the environment, and economic society.Water development will be located and production and ecological waters will be allocated rationally, coordinated with production-living-ecological spaces, to realize both ecological protection and high quality development. (4) To face the future and the development of new infrastructure projects, it is necessary integrate smart networks with the water physical, information, and management networks.This represents the development direction of modern smart water infrastructure and is also at the forefront of contemporary water technology.

Key words: water resources; ecological environment; optimized allocation production-living-ecological spaces; development pattern; smart water network